

## Termodynamika, ciepło

### C. Właściwy

Rozwiązanie każdego zadania zapisz na oddzielnej, podpisanej kartce z wyraźnie zaznaczonym numerem zadania.

#### 1 Zadanie – Ogrzewanie wody

Ile ciepła należy dostarczyć 300 g wody, aby ogrzać ją o 60 K? Wynik wyraż w kJ. Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi 4200 J/(kg·K).

#### 2 Zadanie – Ochładzanie sali

W pomieszczeniu są klimatyzatory o maksymalnej mocy chłodniczej 3 kW. W sali znajduje się 45 studentów. Można przyjąć, że każdy z nich wydziela ciepło z szybkością około 340 kJ/godz. W pomieszczeniu znajduje się także 17 żarówek, każda o mocy 80 W. Ponieważ na zewnątrz panuje wysoka temperatura, przez ścianę przenika ciepło z szybkością 8 MJ/godz. Ile klimatyzatorów powinno być włączonych, jeśli powietrze w pomieszczeniu ma być utrzymywane w stałej temperaturze 18°C?

#### 3 Zadanie – Kolektor słoneczny

Na dachu zamontowany jest kolektor słoneczny o sprawności  $n = 25\%$ . Energia słoneczna docierająca do kolektora przekazywana jest do wody krążącej w rurach kolektora. Jaka jest powierzchnia kolektora, jeśli w ciągu godziny ogrzewa 247 litrów wody, zwiększając jej temperaturę o 20°C? Przyjmij, że w danej godzinie natężenie promieniowania słonecznego wynosi 770 W/m<sup>2</sup>. Ciepło właściwe wody wynosi 4200 J/(kg·K), a jej gęstość 1000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4 Zadanie – Ciepło właściwe ciała

Do aluminiowego kalorymetru o masie 200 g włożono kulę o masie 420 g. Następnie do naczynia wiano 20 g wrzącej wody i zamknięto kalorymetr, aby zminimalizować wymianę ciepła z otoczeniem. Po ustaleniu się równowagi termicznej układu zmierzono temperaturę wody, wyniosła ona 35°C. Temperatura początkowa kalorymetru i kuli jest równa temperaturze otoczenia i wynosi 20°C. Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi 4200 J/(kg·K), a ciepło właściwe aluminium 900 J/(kg·K). Oblicz ciepło właściwe kuli, a następnie sprawdź w tablicy, z jakiego materiału jest najprawdopodobniej zbudowana. Zastanów się, dlaczego otrzymana wartość różni się od wartości podanej w tablicy.

substancja	ciepło właściwe J/(kg·K)
cyna	220
miedź	380
nikiel	460
glin	900

## 5 Zadanie – Topienie złota

Jubiler na stopienie złota zużył 640 J energii. Oblicz, ile złota stopił jubiler, wiedząc, że złoto było już podgrzane do temperatury topnienia oraz że ciepło topnienia złota wynosi 64 kJ/kg.

## 6 Zadanie – Parowanie wody

Do naczynia zawierającego 0,6 kg wody włożono grzałkę o mocy 900 W, a następnie doprowadzono wodę do wrzenia. Ile wody wyparowało w ciągu 5 minut wrzenia? Przyjmij, że ciepło parowania wody wynosi 2270 kJ/kg.

## 7 Zadanie – Silnik spalinowy

Samochód jedzie po autostradzie ze stałą prędkością. By utrzymać prędkość, silnik pracuje z mocą 16 kW. Sprawność silnika wynosi 23%. Ile zapłacimy za benzynę zużytą przez samochód jadący przez 2,5 godziny? Cena benzyny na stacji paliw wynosi 4,77 zł/l, ciepło spalania wynosi 42 MJ/kg, a jej gęstość 0,7 g/cm<sup>3</sup>.

## 8 Zadanie – Lód w ciepłej wodzie

Blok lodu o temperaturze  $-8^{\circ}\text{C}$  i masie 160 g włożono do 740 g wody o temperaturze  $65^{\circ}\text{C}$ . Oblicz końcową temperaturę układu, zakładając, że nie następuje wymiana ciepła z otoczeniem. Przyjmij wartości: ciepła właściwego lodu 2050 J/(kg K), ciepła topnienia lodu 334 kJ/kg, ciepła właściwego wody (cieczy) 4200 J/(kg K).

## 9 Zadanie – Podgrzewanie lodu

W naczyniu znajdował się lód o masie 3 kg w temperaturze  $-25^{\circ}\text{C}$ . Naczynie to postawiono na kuchence gazowej i ogrzewano przez 0,1 min. Moc kuchenki wynosiła 8 kW. Sprawność procesu ogrzewania zawartości naczynia była równa 36%.

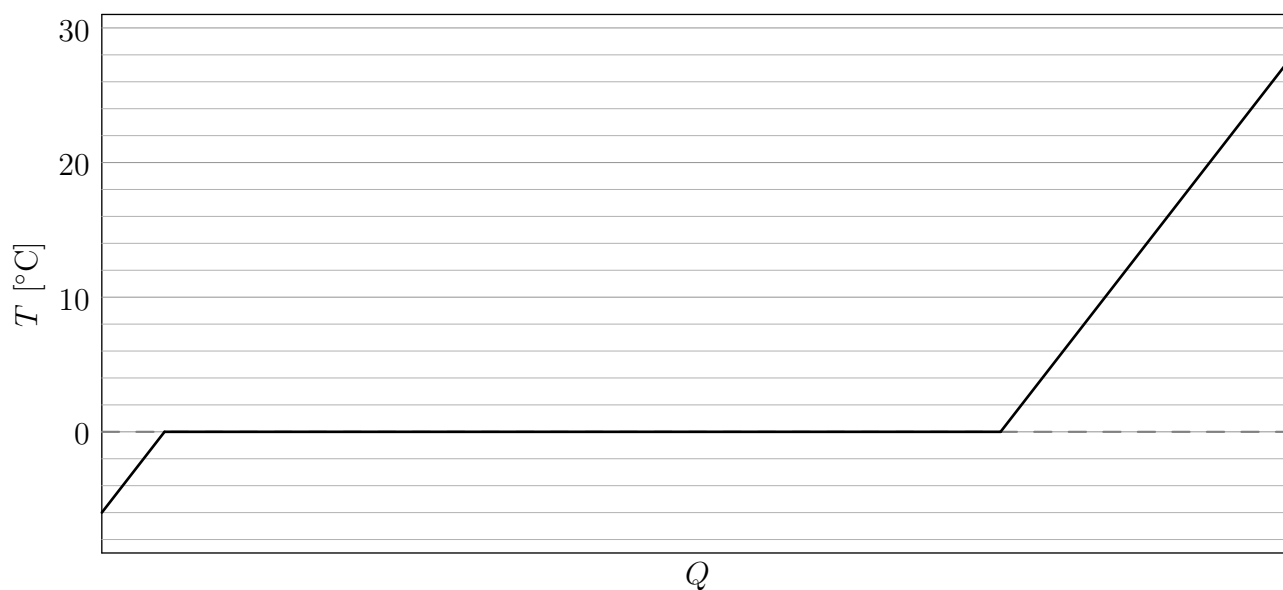
- Czy lód się stopił?
- Oblicz temperaturę końcową zawartości naczynia. Wynik podaj z dokładnością do 2 cyfr znaczących.

W obliczeniach pominięto ciepło oddane do otoczenia i naczynia. Przyjmij, że ciepło topnienia lodu wynosi  $L = 330$  kJ/kg, ciepło właściwe lodu  $c_l = 2100$  J/(kg · K), a ciepło właściwe wody  $c_w = 4200$  J/(kg · K).

## 10 Zadanie – Zjawiska cieplne

Na rysunku poniżej przedstawiono zależność temperatury próbki 3 g H<sub>2</sub>O od wymienionego z otoczeniem ciepła. Rozpoznaj i podpisz przedstawione zjawiska cieplne. Oblicz, ile kalorii próbka wymieniła z otoczeniem podczas całego procesu przedstawionego na rysunku. Potrzebne dane znajdują się w tabeli. Przyjmij, że na diagramie został przedstawiony cały proces przemiany fazowej. Uwaga, rysunek nie zachowuje skali.

ciepło topnienia/zamarzania	336000 J/kg
ciepło parowania/skrapłania	2270000 J/kg
ciepło właściwe (woda)	4200 J/(kg·K)
ciepło właściwe (lód)	2100 J/(kg·K)
ciepło właściwe (para wodna)	2000 J/(kg·K)



## 11 Zadanie – Granitowa płyta

Powierzchnia płyty granitowej to  $98 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ , a jej grubość 4 m. Pod płytą panuje temperatura 30°C, a nad płytą  $-8^\circ\text{C}$ . Oblicz ciepło przepływające przez płytę w trakcie jednej minuty, jeśli współczynnik przewodnictwa cieplnego granitu jest równy  $2 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ .

## 12 Zadanie – Ceglany dom

Ceglany dom ma ściany o grubości 30 cm. Wewnątrz domu utrzymywana jest stała temperatura 21°C. Temperatura powietrza na zewnątrz wynosi 14°C.

- Oblicz, ile ciepła stracimy w ciągu sekundy przez jedną ze ścian o powierzchni 25 m<sup>2</sup>. Przyjmij, że przewodnictwo cieplne cegły wynosi  $1 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ .
- Aby zapobiec utracie ciepła, ocieplono budynek z zewnątrz warstwą styropianu o grubości 50 cm. Ile teraz tracimy ciepła przez tę samą ścianę? Przyjmij, że przewodnictwo cieplne styropianu wynosi  $0,04 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ .
- Jaka temperatura panuje na złączu materiałów?

### 13 Zadanie – Wydłużenie szyny

Oblicz, o ile zmieni się długość stalowej szyny po ogrzaniu jej do temperatury  $13^{\circ}\text{C}$ , jeśli jej długość przy temperaturze  $3^{\circ}\text{C}$  jest równa 9 m. Współczynnik rozszerzalności cieplnej użytej stali jest równy  $0,99 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

### 14 Zadanie – Zegar

Pewien zegar, posiadający wahadło z mosiądzu, odmierza dokładnie czas w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ . Temperatura spadła do  $-2^{\circ}\text{C}$ . O ile więcej wahnięć w ciągu doby wykona zegar w niższej temperaturze? Przyjmij, że współczynnik rozszerzalności cieplnej mosiądzu wynosi  $19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ . Jeden koniec pręta z mosiądzu zamocowany jest w taki sposób, by mógł obracać się w płaszczyźnie pionowej. Do drugiego końca pręta przymocowany jest ciężarek. Długość pręta jest znacznie większa od rozmiarów ciężarka. Pręt z mosiądzu jest znacznie lżejszy niż przyczepiony do niego ciężarek.

### 15 Zadanie – Spadająca kulka

Z jaką prędkością powinna spadać kulka wykonana z ołowiu, aby przy uderzeniu o ziemię całkowicie uległa stopieniu? Zakładamy, że mimo odkształcenia pocisk pozostał w całości oraz że przy uderzeniu  $n = 31\%$  energii zostało przekazane pociskowi w formie ciepła. Temperatura początkowa kulki wynosi 298 K. Pozostałe potrzebne dane zamieszczone są w tabeli poniżej.

substancja	ciepło właściwe $[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	ciepło topnienia $[\text{kJ}/\text{kg}]$	temperatura topnienia $[^{\circ}\text{C}]$
cyna	222	59	232
ind	233	28	156
ołów	128	25	328

### 16 Zadanie – Spadająca kulka (1 wiersz tabeli)

Z jaką prędkością powinna spadać kulka wykonana z indu, aby przy uderzeniu o ziemię całkowicie uległa stopieniu? Zakładamy, że mimo odkształcenia pocisk pozostał w całości oraz że przy uderzeniu  $n = 31\%$  energii zostało przekazane pociskowi w formie ciepła. Temperatura początkowa kulki wynosi 296 K. Pozostałe potrzebne dane zamieszczone są w tabeli poniżej.

substancja	ciepło właściwe $[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	ciepło topnienia $[\text{kJ}/\text{kg}]$	temperatura topnienia $[^{\circ}\text{C}]$
ind	233	28	156

### 17 Zadanie – Lodowiec

Oszacuj masę stopionego lodu z lodowca, który zsunął się i zatrzymał w dolinie. Początkowo lodowiec spoczywał na wysokości 438 m nad doliną i miał masę  $4 \cdot 10^9 \text{ kg}$ . Załóż, że energia tracona przez zsuwający się lodowiec i spływającą wodę powstała podczas topnienia lodowca powoduje dalsze topnienie lodu. Przyjmij ciepło topnienia lodu  $334 \text{ kJ/kg}$ . Przyspieszenie ziemskie w miejscu zdarzenia jest równe  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

## 18 Zadanie – Promieniowanie kuli

Gorąca kula o promieniu 8 cm, temperaturze powierzchni 600 K i względnej zdolności emisyjnej 0,67 wysyła energię w postaci promieniowania. Ile energii zaabsorbują w ciągu 4 minut ciało doskonale czarne, które odbiera  $7 \cdot 10^{-3}$  energii promieniowania wyemitowanego przez kulę? Stała Stefana-Boltzmana wynosi  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

## 19 Zadanie – Zmiana energii wewnętrznej układu

W pewnym procesie dostarczyliśmy do układu ciepło o wartości 290 J, wykonaliśmy pracę nad tym układem (np. sprężając go) o wartości 110 J oraz odebraliśmy od układu ciepło o wartości 210 J, a układ wykonał pracę o wartości 90 J. Oblicz zmianę energii wewnętrznej tego układu wskutek opisanego procesu.

## 20 Zadanie – Szybkość średnia atomu

W pewnym ośrodku o temperaturze  $-13^\circ\text{C}$ , poruszają się atomy neonu. Oblicz szybkość średnią kwadratową, z jaką poruszają się cząsteczki tego gazu, wiedząc, że jego masa molowa wynosi 20,2 g/mol.

## 21 Zadanie – Pęcherzyk powietrza

Z dna jeziora o głębokości 29,1 m odrywa się pęcherzyk powietrza o promieniu 4,4 mm. Temperatura na dnie jeziora wynosi  $3,8^\circ\text{C}$ . Pęcherzyk po dotarciu na powierzchnię jeziora zmienił się w półsferyczną bańkę o promieniu 10,6 mm. Jaka temperatura panuje na powierzchni jeziora, jeśli ciśnienie atmosferyczne wynosi 100 kPa? Przyjmij, że gęstość wody wynosi  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ , a gęstość powietrza w warunkach normalnych  $1,29 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Pomiń wpływ napięcia powierzchniowego na ciśnienie w pęcherzyku. Załóż, że temperatura powietrza w pęcherzyku jest zawsze równa temperaturze otoczenia.

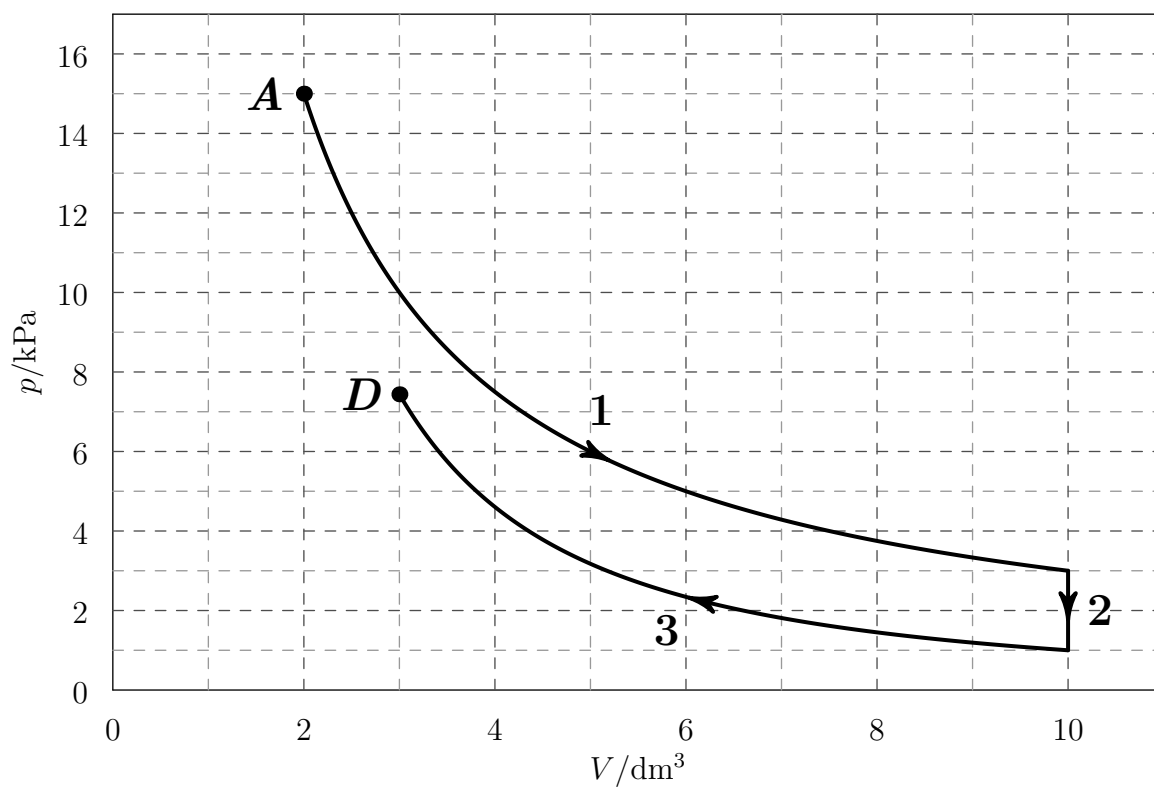
## 22 Zadanie – Entropia i porcja wody

Oblicz zmianę entropii wody o masie 53 g podczas przemiany jej stanu z ciekłego (płyn) w stan gazowy (para) w temperaturze wrzenia pod ciśnieniem 1 atm. Przyjmij ciepło parowania równe  $2257 \text{ kJ}/\text{kg}$ .

## 23 Zadanie – Przemiany gazowe

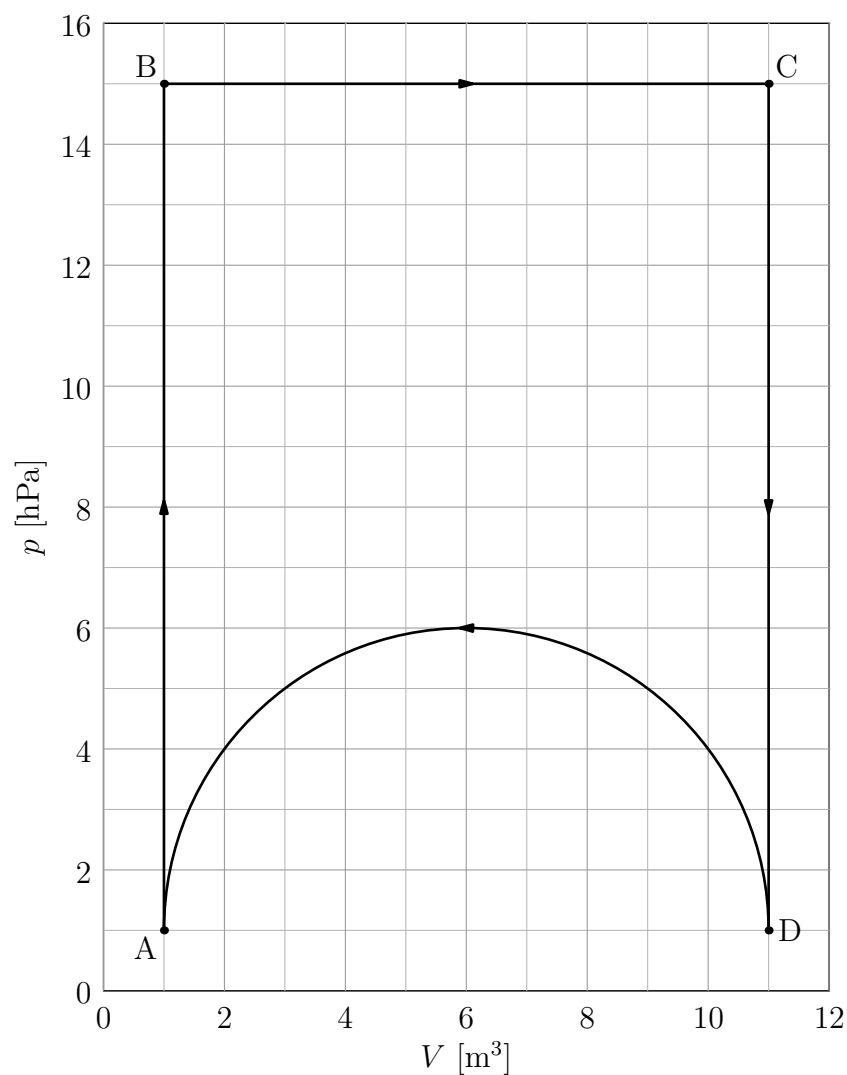
Ustalona porcja gazowego neonu przeszła przemiany 1, 2 i 3 przedstawione na poniższym wykresie, gdzie  $p$  oznacza ciśnienie gazu, a  $V$  jego objętość. Początkowo parametry gazu opisywał punkt  $A$ . Wiadomo, że przemiana 3 była adiabatyczna.

- Podaj nazwy przemian 1 i 2. W przypadku przemiany 1 swoją hipotezę dotyczącą rodzaju przemiany sprawdź w 3 różnych punktach.
- Dla każdej z przemian wskaż wielkości, które są zawsze równe 0 w trakcie tej przemiany.
- Czy gaz w punkcie  $D$  ma większą temperaturę niż w punkcie  $A$ ?
- Czy z punktu  $D$  może ta porcja gazu dotrzeć do punktu  $A$  w przemianie izobarycznej?



## 24 Zadanie – Praca wykonana przez gaz

Oblicz pracę wykonaną przez gaz podczas jednego cyklu przedstawionego na wykresie poniżej. Fragment DA ma kształt półokręgu.

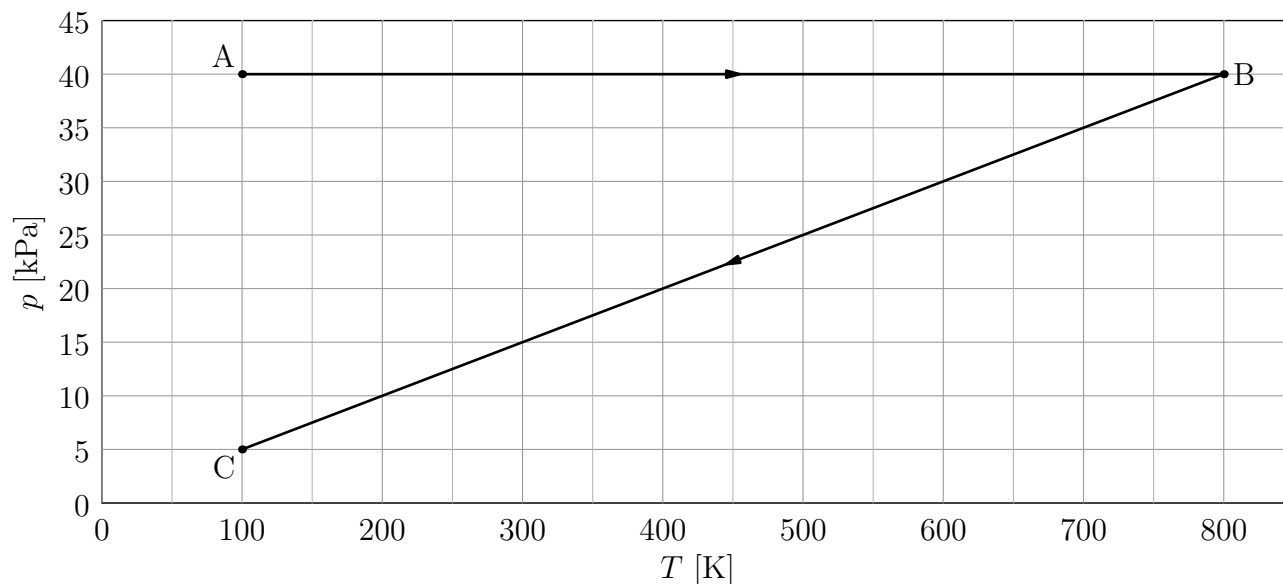


## 25 Zadanie – Przemiany gazu doskonałego

W szczelnym naczyniu, zamkniętym tłokiem, znajduje się argon. Masa gazu jest równa 2 kg, a początkowa temperatura 25°C. Gaz poddano przemianie izobarycznej, dostarczając mu 880 J ciepła. Jaką pracę wykonał argon podczas rozprężania? Przyjmij, że masa molowa gazu wynosi 40 g/mol.

## 26 Zadanie – Ciepło, energia wewnętrzna i praca w przemianach gazowych

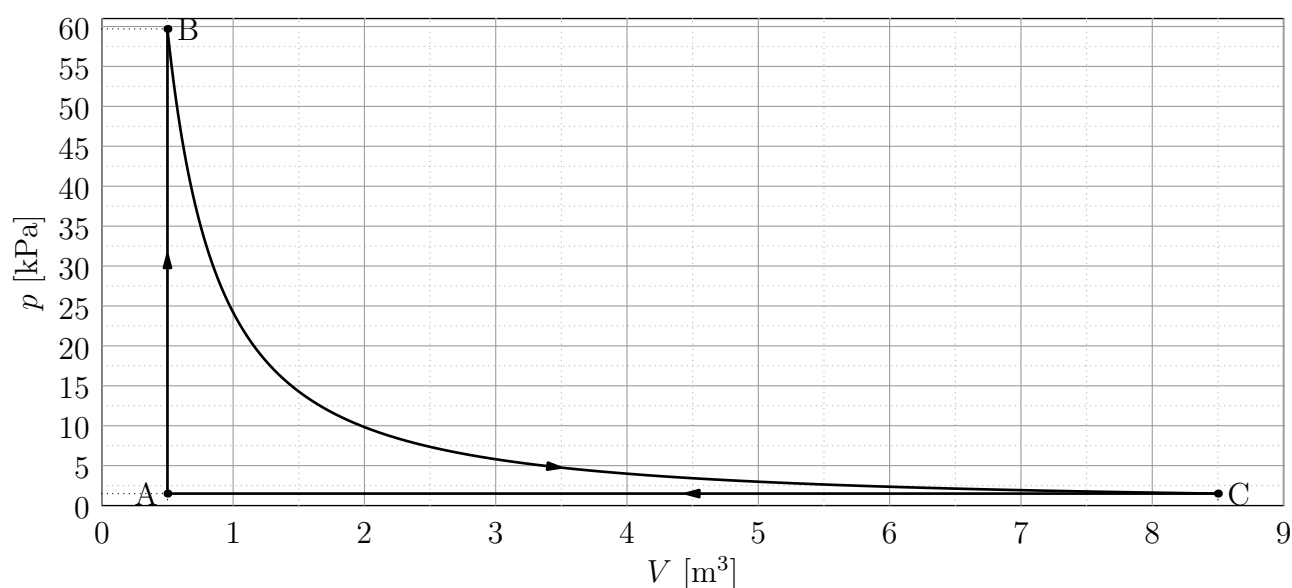
Oblicz zmianę energii wewnętrznej gazu doskonałego, pracę wykonaną przez gaz oraz ciepło wymienione z otoczeniem podczas przemiany przedstawionej na wykresie poniżej. Przyjmij, że zmiana objętości wyniosła  $0,3 \text{ m}^3$ .



## 27 Zadanie – Ciepło oddane i pobrane

Jeden mol jednoatomowego gazu doskonałego jest poddawany przemianom przedstawionym na wykresie poniżej. Wiedząc, że przemiana B-C jest przemianą adiabatyczną oraz że ciśnienie w punkcie A jest równe  $1,5 \text{ kPa}$ , a w punkcie B ciśnienie wynosi  $59,7 \text{ kPa}$ , oblicz:

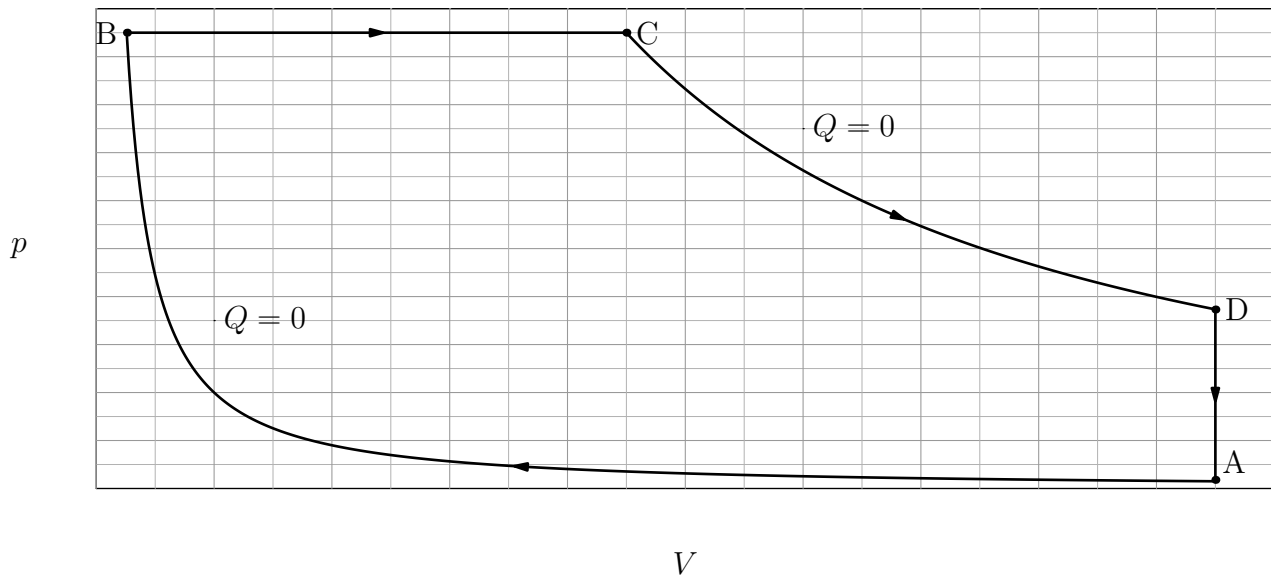
- energię pobraną przez gaz z grzejnika;
- energię oddaną chłodnicy;
- wypadkową pracę w jednym cyklu silnika cieplnego, w którym gaz poddawany jest opisanym przemianom;
- sprawność tego silnika.





## 28 Zadanie – Cykl przemian gazu

Wyznacz sprawność cyklu dla ustalonej porcji gazu doskonałego przedstawionego na rysunku poniżej. Wynik przedstaw tylko w zależności od temperatur oraz stosunku ciepła właściwego w przemianie izobarycznej do ciepła właściwego w przemianie izochorycznej. Przemiany A-B oraz C-D są adiabatyczne. Dane są temperatury w punktach A, B, C, D.



## 29 Zadanie – Przemiana adiabatyczna i izotermiczna

Porcję 2,3 kg argonu o temperaturze 609 K i ciśnieniu  $3 \cdot 10^5$  Pa sprężono adiabatycznie, a następnie rozprężono izotermicznie. Ilość ciepła pobrana w procesie izotermicznym jest równa przyrostowi energii wewnętrznej gazu w procesie adiabatycznym i wynosi 232 kJ. Oblicz objętość i ciśnienie gazu po przemianie

- adiabatycznej
- izotermicznej.

Przyjmij, że masa molowa gazu wynosi 40 g/mol, a wykładnik adiabaty 1,66.

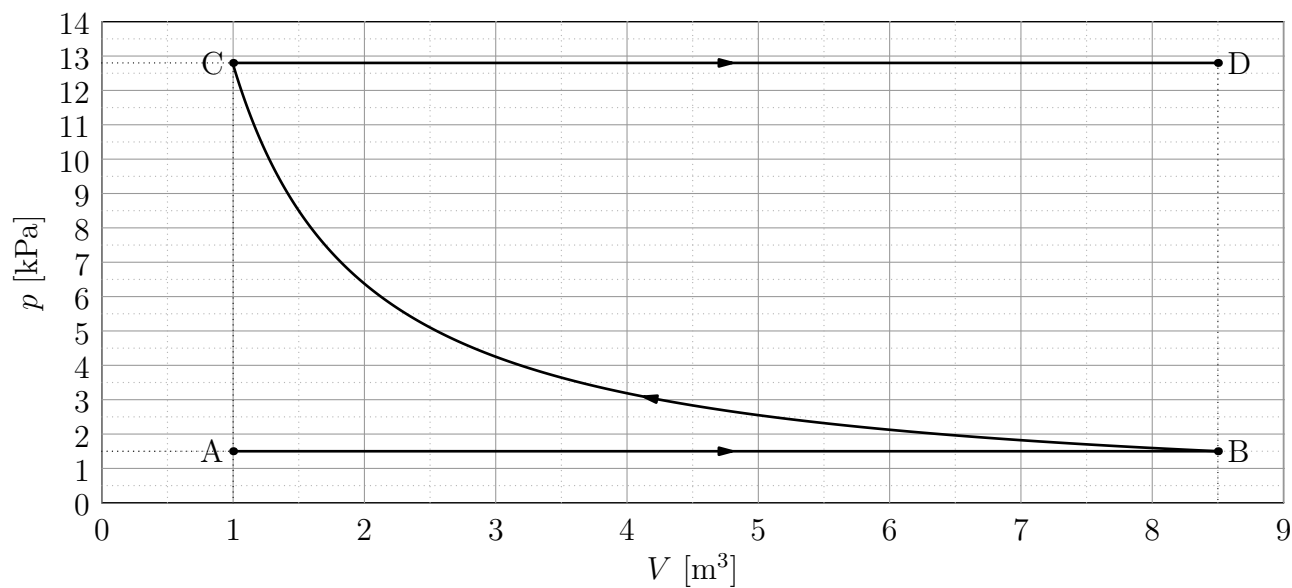
## 30 Zadanie – Entropia gazu

Zmianę entropii gazu doskonałego wyraża uniwersalny dla każdej przemiany wzór.

$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_k}{V_p} + n \cdot C_v \cdot \ln \frac{T_k}{T_p}$$

$n$  - liczba moli,  $R$  - uniwersalna stała gazowa,  $V_k$  - objętość końcowa,  $V_p$  - objętość początkowa,  $C_v$  - ciepło molowe przy stałej objętości,  $T_k$  - temperatura końcowa,  $T_p$  - temperatura początkowa.

Jeden mol jednoatomowego gazu doskonałego został poddany przemianie izotermicznej i dwóm przemianom izobarycznym. Końcowe ciśnienie gazu jest równe 12,8 kPa. Korzystając z przedstawionego wzoru oraz wykresu poniżej, oblicz zmianę entropii dla każdego z trzech procesów. Zinterpretuj otrzymane wyniki.



### 31 Zadanie – Równanie van der Waalsa

Porcję 2,1 kg chloru ogrzano od temperatury 420 K do temperatury 510 K. Podczas przemiany objętość gazu wzrosła od 4 m<sup>3</sup> do 8 m<sup>3</sup>. Zakładając, że gaz spełnia równanie van der Waalsa, oblicz zmianę energii wewnętrznej gazu. Załóż, że masa molowa użytego gazu to 35 g/mol, ciepło molowe przy stałej objętości 12,8 J/(K·mol), a stałe występujące w równaniu van der Waalsa  $a = 0,658 \text{ J}\cdot\text{m}^3/(\text{mol})^2$ ,  $b = 0,056 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ .